



ARTÍCULO CIENTÍFICO

Concentración mínima efectiva de bupivacaína para el bloqueo del plexo braquial vía axilar guiado por ecografía[☆]



Alexandre Takeda, Leonardo Henrique Cunha Ferraro*, André Hosoi Rezende, Eduardo Jun Sadatsune, Luiz Fernando dos Reis Falcão y Maria Angela Tardelli

Asignatura de Anestesiología, Dolor y Cuidados Intensivos, Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, SP, Brasil

Recibido el 21 de septiembre de 2013; aceptado el 26 de noviembre de 2013

Disponible en Internet el 18 de marzo de 2015

PALABRAS CLAVE

Anestesia regional;
Bloqueo del plexo
braquial;
Bupivacaína;
Ecografía;
Bloqueo axilar;
Concentración
mínima efectiva

Resumen

Introducción: El uso de la ecografía en la anestesia regional permite la reducción de la dosis de anestésico local utilizada para el bloqueo de nervios periféricos. El presente estudio fue llevado a cabo con el objetivo de determinar la concentración mínima efectiva (CME90) de bupivacaína para el bloqueo del plexo braquial vía axilar.

Métodos: Fueron reclutados pacientes sometidos a cirugías de la mano. Se usó un método de ubicación «*biased coin*» secuencial «*up-down*» para estimar la CME90. La dosis de bupivacaína fue de 5 mL para cada nervio (radial, cubital, mediano y musculocutáneo). La concentración inicial era de un 0,35%. Esa concentración era alterada en un 0,05% dependiendo del bloqueo anterior: El fallo del bloqueo revertía en un aumento de la concentración al próximo paciente; en caso de éxito, el próximo paciente podría recibir o una reducción (probabilidad de 0,1) o la misma concentración (probabilidad 0,9). La anestesia quirúrgica fue definida como fuerza motora ≤ 2 según la escala de Bromage modificada, ausencia de sensibilidad térmica y de respuesta al *pinprick* (test del pinchazo de la aguja). La analgesia postoperatoria fue verificada en la sala de recuperación anestésica con la escala numérica de dolor y la cantidad de analgésicos utilizados hasta 4 h después del bloqueo.

Resultados: La CME90 fue del 0,241% [R2: 0,978, intervalo de confianza: 0,20-0,34%]. Además, ningún paciente con éxito en el bloqueo tuvo dolor después de 4 h.

Conclusión: Este estudio demostró que se puede realizar el bloqueo del plexo braquial vía axilar guiado por ecografía utilizando bajas concentraciones de anestésico local, aumentando

[☆] Registro Comité de Ética de la Institución: 0482/11.

Registro ClinicalTrials.gov: NCT01838928.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: leohcferraro@yahoo.com.br (L.H.C. Ferraro).

KEYWORDS

Regional anesthesia;
Brachial plexus block;
Bupivacaine;
Ultrasound;
Axillary block;
Minimum effective
concentration

la seguridad del procedimiento. Nuevos estudios deben ser realizados para calcular la duración de bloqueos con bajas concentraciones.

© 2014 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos los derechos reservados.

Minimum effective concentration of bupivacaine for axillary brachial plexus block guided by ultrasound

Abstract

Introduction: The use of ultrasound in regional anesthesia allows reducing the dosis of local anesthetic used for peripheral nerve block. The present study was performed to determine the minimum effective concentration (MEC90) of bupivacaine for axillary brachial plexus block.

Methods: Patients undergoing hand surgery were recruited. To estimate the MEC90, a sequential up-down biased coin method of allocation was used. The bupivacaine dosis was 5 mL for each nerve (radial, ulnar, median, and musculocutaneous). The initial concentration was 0.35%. This concentration was changed by 0.05% depending on the previous block: a blockade failure resulted in increased concentration for the next patient; in case of success, the next patient could receive or reduction (0.1 probability) or the same concentration (0.9 probability). Surgical anesthesia was defined as driving force ≤ 2 according to the modified Bromage scale, lack of thermal sensitivity and response to pinprick. Postoperative analgesia was assessed in the recovery room with numeric pain scale and the amount of drugs used within 4 h after the blockade.

Results: MEC90 was 0.241% [R2: 0.978, confidence interval: 0.20-0.34%]. No successful block patient reported pain after 4 h.

Conclusion: This study demonstrated that ultrasound guided axillary brachial plexus block can be performed with the use of low concentration of local anesthetics, increasing the safety of the procedure. Further studies should be conducted to assess blockade duration at low concentrations.

© 2014 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

Introducción

El éxito del bloqueo de nervios periféricos depende de la correcta identificación de las estructuras nerviosas y de la inyección de una dosis adecuada de anestésico local alrededor de ellas, para poder obtener una impregnación completa de todos los nervios involucrados en la cirugía. Para el bloqueo del plexo braquial vía axilar (BPVA), donde los fallos son típicamente atribuidos a un posicionamiento incorrecto de la aguja o a septaciones de la vaina del plexo braquial en la región axilar^{1,2}, volúmenes de hasta 80 mL ya fueron utilizados para aumentar la tasa de éxito³. Sin embargo, el uso de grandes cantidades de anestésico local aumenta la probabilidad de que ocurra toxicidad sistémica, que es la mayor complicación de la anestesia regional. Aunque la incidencia de toxicidad sistémica sea menor del 0,2%, esa complicación es de tratamiento difícil y potencialmente fatal^{4,5}.

La introducción de la ecografía en la práctica clínica de la anestesia regional hizo posible la visualización de las estructuras nerviosas, lo que permite una mayor precisión en la administración de anestésicos locales. El volumen mínimo efectivo de anestésico local para el bloqueo de algunos nervios periféricos ha sido investigado, y algunos

estudios demuestran que pueden lograrse bloqueos efectivos utilizando bajos volúmenes de anestésicos, lo que reduce la probabilidad de toxicidad sistémica⁶⁻¹¹. Sin embargo, la aplicabilidad clínica de bajos volúmenes y la limitación de identificar inyecciones intraneurales por ecografía han sido cuestionadas¹².

Reducir la concentración de anestésico local puede limitar la dosis total del fármaco administrado sin alterar el volumen que se inyectó. Sin embargo, la concentración mínima de anestésicos locales para obtener el BPVA con seguridad, pero sin comprometer la calidad del bloqueo y su eficacia, todavía no se ha establecido.

El objetivo de este estudio fue calcular la concentración mínima efectiva de 20 mL de bupivacaína sin epinefrina, que alcanzó anestesia quirúrgica para el BPVA guiado por ecografía para cirugías de mano en un 90% de los pacientes (CME90).

Materiales y métodos

El presente estudio usó un modelo *step-up/step-down* para determinar la CME90 de bupivacaína en el BPVA guiado por ecografía.

Este protocolo fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de nuestra institución (Ref. 0482/11) y registrado en el *Clinical-Trials.gov* (protocolo NCT01838928). Pacientes con edades entre los 18 y los 65 años y con indicación de bloqueo de plexo braquial para anestesia y analgesia para intervención quirúrgica electiva de la mano, con duración menor que 2 h, estado físico ASA I, II o III, conforme a la Sociedad Norteamericana de Anestesiólogos, e índice de masa corporal $< 35 \text{ kg/m}^2$ fueron incluidos en el estudio entre los años 2011 y 2012, después de la firma del consentimiento informado. Fueron excluidos del estudio los pacientes que tenían alteración que les impedía la evaluación de motricidad o sensibilidad, compromiso cognitivo o condición psiquiátrica activa, infección en el sitio de punción del bloqueo, coagulopatía o historial de alergia a la bupivacaína.

Después de la inclusión de los pacientes en el estudio, fueron registrados todos sus datos demográficos. Se realizó entonces la monitorización de rutina para el procedimiento quirúrgico con electrocardiograma, presión arterial no invasiva y oximetría de pulso, y se obtuvo el acceso venoso periférico en el miembro superior contralateral al de la cirugía para la infusión de solución cristaloide y sedación con $0,03 \text{ mg/kg}^{-1}$ de midazolam.

El bloqueo del plexo braquial fue realizado por vía axilar, con ayuda de la ecografía M-Turbo® con transductor lineal de 13-6 MHz (SonoSite, Bothell, WA, EE. UU.) y estimulador de nervio periférico Stimuplex® DIG RC (B. Braun, Melsung, Alemania) con el paciente en posición supina. Fue realizada antisepsia de la piel con clorhexidina, protección del transductor con plástico estéril e infiltración del lugar de punción con 2 mL de lidocaína al 1%. Después de la visualización de los nervios del plexo braquial por ecografía, se hizo la punción con aguja para electroestimulación 22G 50 mm AEQ2250 (BMD Group, Venecia, Italia). El neuroestimulador fue utilizado para confirmar la identificación de los 4 nervios separadamente (mediano, cubital, radial y musculocutáneo). Una dosis de 5 mL de bupivacaína sin epinefrina se inyectó lentamente alrededor de cada nervio visualizado por ecografía, completando un total de 20 mL. La dosis de 5 mL fue definida siguiendo los protocolos actuales de anestesia regional de nuestra institución. En el caso de que la inyección de la solución presentase resistencia, el paciente se quejase de dolor intenso, o fuese visualizado un aumento en el diámetro del nervio, la aguja era reposicionada. La dispersión del anestésico local era cuidadosamente seguida por la imagen para que circundase el perímetro del nervio.

El término de la inyección de la solución de anestésico local fue considerado el momento cero para la evaluación de la efectividad del bloqueo. Un anestesta que no estaba presente durante la inyección y que no conocía la concentración del anestésico utilizado calculó los bloqueos motor, térmico y sensitivo. Esta evaluación se hizo cada 5 min a partir del momento cero, hasta que el bloqueo fuese considerado efectivo, pero fue limitado a 30 min. Después de ese tiempo, si el bloqueo no fuese el adecuado, era realizada la complementación.

Para la evaluación de la función motora fue utilizada la escala de Bromage modificada^{6,11} (tabla 1). Los músculos evaluados fueron: flexores del dedo (nervio mediano), extensores del dedo (nervio radial), aductores del dedo

Tabla 1 Escala de Bromage modificada

Grado	Definición
4	Fuerza muscular completa en grupos musculares relevantes
3	Reducción de fuerza, pero capaz de moverse contra resistencia
2	Capacidad de moverse contra la gravedad, pero no contra la resistencia
1	Movimientos discretos (temblores) de los grupos musculares
0	Ausencia de movimientos

(nervio cubital) y flexión del codo (nervio musculocutáneo). Se obtuvo la puntuación para cada uno de los 4 nervios.

La evaluación de la sensación térmica fue realizada con una gasa y alcohol. La sensibilidad dolorosa fue evaluada con el test *pinprick* con una aguja 23G. Ambas evaluaciones se dieron separadamente para cada nervio y para cada sensación, y utilizaron los siguientes sitios: eminencia hipotenar (nervio cubital), eminencia tenar (nervio mediano), dorso de la mano (nervio radial) y región lateral del antebrazo (nervio musculocutáneo).

El tiempo de latencia fue definido como el período entre el momento cero y el momento en el que se logró la anestesia quirúrgica.

La anestesia quirúrgica fue considerada efectiva si la escala motora fuese ≤ 2 , si hubiese ausencia de sensación de dolor y de frío para todos los nervios, y si no hubiese necesidad de complementación (anestesia local o general) durante la cirugía. Los pacientes que presentasen cualquier grado de fallo de bloqueo recibían una complementación con anestesia local del nervio, distal a la axila, guiada por ecografía, o conversión para anestesia general.

Todos los pacientes recibieron inyección subcutánea de 3 mL de solución de lidocaína al 2% con adrenalina para bloqueo complementario del nervio intercostobraquial, en virtud de la utilización del torniquete neumático en el tercio medio del brazo. Durante el procedimiento quirúrgico, fue utilizada infusión de propofol de $25\text{--}40 \mu\text{g/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ para la sedación hasta obtenerse una puntuación de Ramsay = 3.

Después del procedimiento quirúrgico, los pacientes fueron admitidos en la sala de recuperación anestésica, donde permanecieron monitorizados hasta cumplir con las condiciones de alta en régimen ambulatorio. Además, en la sala de recuperación anestésica fue verificada la analgesia postoperatoria a través de la escala numérica de dolor (0 indicando ausencia de dolor y 10 indicando el peor dolor vivido por el paciente) y cuantificado el total de analgésico solicitado por el paciente hasta 4 h después de la realización del BPVA.

Análisis estadístico

En este estudio, el objetivo primario fue estimar la concentración efectiva mínima de una solución de 5 mL de bupivacaína por nervio (total de 20 mL) para el BPVA guiado por ecografía. Para eso, usamos un método de ubicación *biased coin* secuencial *up-down* para estimar la CME90¹³. La concentración inicial del anestésico local fue del 0,35%. Esta

Tabla 2 Características demográficas de los pacientes

Edad (años) ^a	35,5 (28-44,5)
Sexo (M/F)	32/14
ASA	
I	31 (67,4%)
II	15 (22,6%)
IMC, kg/m ²	24,9 (22,5-26,8)

IMC, índice de masa corporal.

^a Datos presentados en medianas (cuartiles).

dosis se eligió en función de la experiencia clínica de nuestro servicio y también de simulacros estadísticos en varias dosis. Cada dosis subsecuente se basó en la dosis anterior. El éxito o el fallo del BPVA determinó la disminución o el aumento de la concentración del anestésico local para el próximo paciente, respectivamente. En la eficacia del bloqueo, el próximo paciente era aleatorizado con probabilidad de 0,1 para recibir la próxima dosis menor y aleatorizado con probabilidad de un 0,9 para recibir la misma dosis. Esas probabilidades fueron calculadas de la siguiente manera:

Probabilidad para la reducción de la dosis (P1): $P1 = (1 - \text{CME deseada}) / \text{CME deseada}$

Probabilidad para el mantenimiento de la dosis (P2): $P2 = 1 - P1$

En este estudio, se eligió realizar el cálculo para estimar la concentración mínima efectiva en un 90% de los casos, por tanto:

$$P1 = (1 - 0,9) / 0,9 = \approx 0,1$$

$$P2 = 1 - P1 = \approx 0,9$$

La secuencia fue examinada utilizando la regresión logística para calcular la concentración mínima efectiva para el 90% de los casos.

Para estimar el tamaño de la muestra fueron realizados simulacros asumiendo un modelo *biased coin* fijo y un número mínimo de respuestas positivas. Se consideró un nivel de significación de un 5% ($\alpha = 0,05$). El tamaño de la muestra de por lo menos 46 pacientes se seleccionó después del test con una variedad de escenarios, cada uno con simulacros de ambas respuestas y las dosis correspondientes seleccionadas por el método de ubicación secuencial descrito anteriormente, y empezando con varias dosis de partida.

Los datos no paramétricos fueron presentados como medianas y cuartiles (P25-P75); los datos categóricos, como frecuencias absolutas y relativas. Los cálculos fueron realizados en una planilla electrónica Microsoft *Excell for Windows*® (Microsoft Corp., Redmond, WA, EE. UU.), GraphPad Prism® for Windows (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EE. UU.) e IBM SPSS Statistics® 20.0 for Mac (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

Resultados

En total fueron incluidos en el protocolo 46 pacientes, y sus características demográficas y las características de los procedimientos quirúrgicos aparecen en las tablas 2 y 3, respectivamente. Ningún paciente que rellenó los criterios de inclusión quedó excluido del estudio.

Tabla 3 Distribución de los procedimientos quirúrgicos realizados (n = 46)

Fractura de metacarpo	17
Lesión de tendón extensor	6
Exéresis de tumor óseo	5
Lesión de tendón flexor	5
Seudoartrosis de falange	3
Sinovectomía	3
Dupuytren	3
Fractura de escafoides	3
Retirada de material de síntesis	1
Duración en min (P25-P75) ^a	55 (40-78,75)

^a Datos presentados en mediana (cuartiles).

El presente estudio demostró que la CME90 para una solución total de 20 mL de bupivacaína sin vasoconstrictor para el BPVA guiado por ecografía fue de un 0,241% (coeficiente de correlación: 0,978; intervalo de confianza: 0,20-0,34%).

De acuerdo con los resultados de la figura 1, existe una fuerte correlación positiva entre las probabilidades de éxito y las concentraciones observadas. La figura 2 muestra la correlación entre las probabilidades de éxito y las concentraciones observadas.

El tiempo medio de latencia, considerando a todos los pacientes del estudio, fue de 15 (10-20) min. Cuando fueron considerados solamente los pacientes que recibieron bloqueos con la concentración de un 0,25% (la concentración más cercana a la CME90), el tiempo medio de latencia fue de 20 (15-22,15) min. Los tiempos medios de latencia para cada concentración analizada aparecen resumidos en la tabla 4. La duración de los bloqueos no fue determinada en este estudio.

Fueron observados un 100% de fallos del bloqueo cuando se utilizó bupivacaína al 0,15%. Sin embargo, todos los bloqueos realizados con una concentración $\geq 0,30\%$ fueron efectivos (fig. 1).

En ningún paciente que estaba incluido en el protocolo hubo ausencia de respuesta específica al neuroestimulador o dolor en el intraoperatorio. Todos los pacientes considerados como fallos mantuvieron la motricidad del nervio mediano, y 2 de los pacientes conservaron también la motricidad del nervio radial. Incluso en esos pacientes, se observó la ausencia de sensibilidad térmica, a pesar del mantenimiento de la motricidad.

Entre los procedimientos, 2 rebasaron la previsión de tiempo de la cirugía y duraron más de 120 min, sin intercurencias para el paciente o la necesidad de complementación de la anestesia.

Todos los procedimientos quirúrgicos en los cuales los pacientes recibieron bloqueos efectivos fueron realizados sin intercurencias, y no fue necesaria la complementación anestésica, tanto local como sistémica. Además, todos los pacientes refrieron ausencia de dolor 4 h después de la realización del BPVA (EVA = 0). No ocurrió ninguna complicación, como la punción vascular o la intoxicación por anestésico local, durante la realización del estudio. Todos los pacientes recibieron el alta el mismo día de la cirugía, sin necesidad de readmisión hospitalaria.

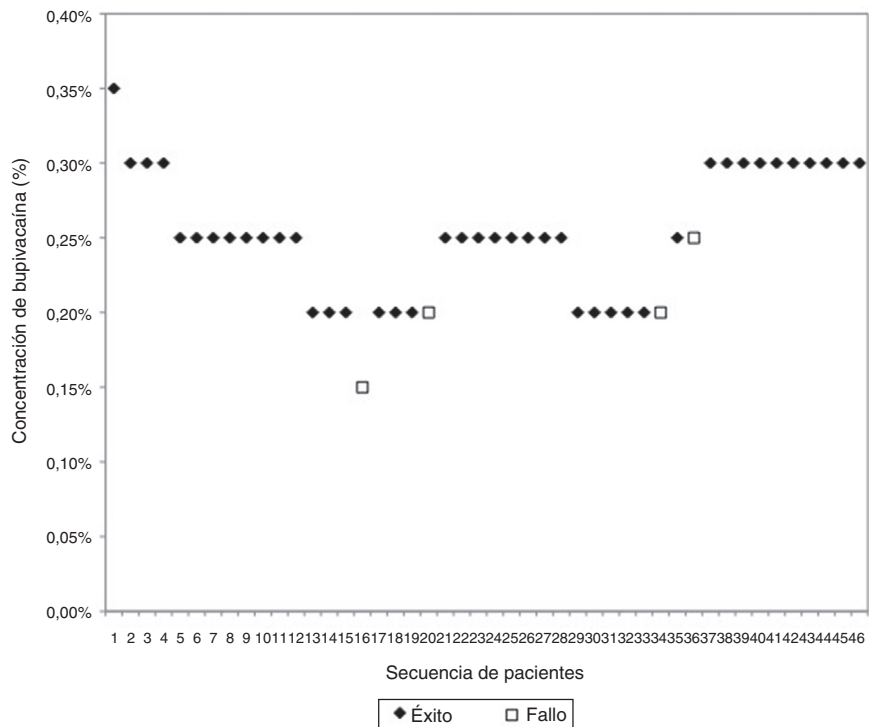


Figura 1 Representación gráfica de la secuencia up-down para los pacientes consecutivos.

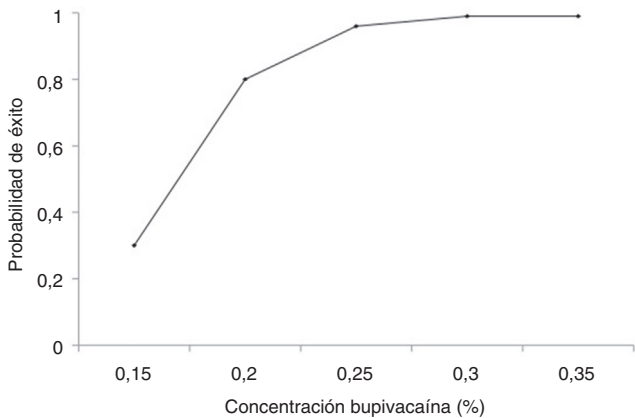


Figura 2 Correlación entre las concentraciones y las probabilidades de éxito observadas.

Tabla 4 Tiempo de latencia para las diferentes concentraciones		
Dosis (%)	Número de blo- queos/efectivos	Latencia (min) ^a (P25-P75)
0,15	0/1	-----
0,20	11/13	25 (25-30)
0,25	17/18	20 (15-22,15)
0,30	13/13	15 (10-16,15)
0,35	1/1	5

^a Datos presentados en mediana (cuartiles).

Discusión

El éxito del bloqueo de nervio periférico se basa en la exactitud con que los nervios están localizados e impregnados por el anestésico. Sin embargo, otros factores importantes que afectan la tasa de éxito y la calidad de esos procedimientos son la concentración y el volumen de anestésico inyectado en la proximidad de los nervios¹⁴. El uso de la ecografía introdujo una nueva perspectiva en la anestesia regional. Esa tecnología proporciona una visualización en tiempo real de todo el procedimiento, permitiéndole al anestesista posicionar de forma precisa la aguja alrededor de la estructura que será bloqueada. Así, la ecografía posibilita una disminución en el volumen o en la concentración utilizada durante la realización del bloqueo. Este estudio demostró que es posible realizar el BPVA efectivo guiado por ecografía con bajas concentraciones de anestésico local.

Eventos adversos, como la toxicidad sistémica, pueden ser dosis dependientes. Por tanto, la prevención de estos es una medida crucial para promover la seguridad al paciente durante la realización de la anestesia regional⁵. Algunas directrices para la práctica de la anestesia regional incluyen la limitación de la dosis de anestésico local a través del uso de menores volúmenes y concentraciones durante la realización del bloqueo. El empleo de bajas dosis de anestésico local genera un bloqueo más seguro, con un menor riesgo de complicaciones, especialmente relacionadas con la toxicidad sistémica de esos anestésicos. A pesar del desarrollo de conductas eficaces para el tratamiento de esas complicaciones, como el uso de soluciones lipídicas^{15,16}, la adopción de bajas dosis de anestésicos locales promueve un bloqueo con una masa de anestésico con un amplio rango de seguridad con relación a la dosis tóxica.

Una de las maneras de reducir la dosis de anestésico local es a través de la disminución del volumen utilizado para la realización del bloqueo. Un estudio previo llevado a cabo por nuestro grupo demostró un BPVA efectivo con aproximadamente 1,6 mL de bupivacaína al 0,5%, con epinefrina 1:200.000 por nervio¹¹. O'Donnell e Iohom también demostraron resultados similares utilizando lidocaína al 2%⁶. Pero la utilización de la técnica de volúmenes bajos tal vez sea difícil de reproducir en la práctica clínica. Por otro lado, el presente estudio utilizó un volumen más próximo a aquel utilizado en la práctica clínica, haciendo, tal vez, que la técnica sea más fácil de ser aplicada.

Se conoce que la concentración de anestésico local es un factor importante que puede influir en el tiempo de latencia de bloqueo de nervios periféricos. La penetración del anestésico local en la raíz nerviosa está afectada por la concentración de la solución utilizada¹⁷. Sugerimos que el aumento de la concentración de la solución de anestésico local alrededor del nervio aumente el gradiente de concentración, pudiendo facilitar la difusión de las moléculas de anestésico hacia adentro del nervio, y así reducir el tiempo de latencia del bloqueo nervioso. Sin embargo, en el presente estudio, se obtuvo una mediana de la latencia próxima a la mediana de la latencia obtenida en nuestro estudio anterior, con volúmenes bajos¹¹. Una posible explicación es que, a pesar de la concentración menor, la masa total de bupivacaína utilizada en el presente estudio fue mayor que la usada en el estudio con volúmenes bajos. Además, un estudio que comparó diferentes concentraciones pero que mantuvo fija la masa de anestésico en el BPVA, reveló que el tiempo de latencia motora, y no el de latencia sensitiva, fue menor cuando se utilizaron volúmenes mayores de anestésico local¹⁸. Así, este no es un punto definido, por lo que se necesitan más estudios para elucidar el asunto.

El uso de concentraciones menores de anestésico local puede traer algunos beneficios. Pippa et al. demostraron que el uso de altas concentraciones de anestésico local para el bloqueo del plexo braquial por vía interescalénica está asociado con un mayor número de complicaciones, como la parálisis del nervio frénico y la hipotensión¹⁹. Además, estudios *in vitro* han demostrado que el uso de anestésico local está asociado con efectos citotóxicos, entre ellos, inducción de apoptosis en células de Schwann, lesión mitocondrial, activación de caspasa y aumento de calcio citoplasmático. Sin embargo, todos esos efectos estaban relacionados con el tiempo de exposición y con una mayor concentración del fármaco utilizado, lo que, teóricamente, muestra una mayor seguridad cuando se utilizan concentraciones menores de anestésico local²⁰. Por otra parte, el uso de concentraciones bajas puede disminuir el tiempo del bloqueo motor en el período postoperatorio, lo que, por ende, puede ser más cómodo para algunos pacientes²¹. Por último, la dosis necesaria para producir un bloqueo efectivo puede ser clínicamente relevante en pacientes pediátricos o cuando sea necesaria la combinación de diferentes bloqueos para la realización de la cirugía debido al riesgo potencial de toxicidad sistémica.

Este estudio presenta algunas limitaciones. Inicialmente, este trabajo no midió la duración del BPVA utilizando dosis bajas de bupivacaína. El uso de dosis bajas de anestésico local disminuyó la duración del bloqueo, que es definido como el tiempo entre el fin de la latencia del bloqueo y la

recuperación de las funciones motora y sensitiva²². Como no se sabía cuánto podrían influir en la duración del bloqueo las concentraciones bajas, se optó por incluir procedimientos con una duración prevista de hasta 2 h.

Por otro lado, este estudio no se proyectó para evaluar la concentración efectiva mínima de anestésico local para analgesia postoperatoria, y deben ser realizados más estudios para calcular este tóxico. Sin embargo, ningún paciente que presentó bloqueo efectivo refirió sentir dolor 4 h después de la realización del bloqueo.

También sabemos que los resultados fueron limitados para obtener la CME90 para una solución de 5 mL de bupivacaína para cada nervio del BPVA, y eso puede no representar la misma concentración para el uso de menores volúmenes. Deben ser realizados más estudios con el objetivo de calcular la eficacia de diferentes volúmenes para esa concentración. Por último, no se debe extrapolar este resultado a otros bloqueos de nervios periféricos.

Como conclusión podemos decir que el presente estudio muestra que, con el uso de la ecografía, se puede obtener la anestesia quirúrgica con concentraciones próximas al 0,25% de bupivacaína cuando se usa el volumen de 5 mL de anestésico para cada nervio del plexo braquial (radial, mediano, cubital y musculocutáneo) por la vía axilar, reduciendo la dosis de anestésico local utilizada y aumentando la seguridad del procedimiento. Deben ser realizados más estudios para determinar los efectos que pueden tener las concentraciones bajas de bupivacaína en la duración del bloqueo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Thompson GE, Rorie DK. Functional anatomy of the brachial plexus sheaths. *Anesthesiology*. 1983;59:117–22.
2. Klaastad O, Smedby O, Thompson GE, et al. Distribution of local anesthetic in axillary brachial plexus block: a clinical and magnetic resonance imaging study. *Anesthesiology*. 2002;96:315–24.
3. Vester-Andersen T, Christiansen C, Sorensen M, et al. Perivascular axillary block II: influence of injected volume of local anaesthetic on neural blockade. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1983;27:95–8.
4. Groban L. Central nervous system and cardiac effects from long-acting amide local anesthetic toxicity in the intact animal model. *Reg Anesth Pain Med*. 2003;8:3.
5. Maher LE, Copeland SE, Ladd LA. Acute toxicity of local anesthetics: underlying pharmacokinetic and pharmacodynamic concepts. *Reg Anesth Pain Med*. 2005;30:553–66.
6. O'Donnell BD, Iohom G. An estimation of the minimum effective anesthetic volume of 2% lidocaine in ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Anesthesiology*. 2009;111:25–9.
7. Marhofer P, Schrogendorfer K, Wallner T, et al. Ultrasonographic guidance reduces the amount of local anesthetic for 3-in-1 blocks. *Reg Anesth Pain Med*. 1998;23:584–8.
8. Casati A, Baciarello M, di Cianni S, et al. Effects of ultrasound guidance on the minimum effective anaesthetic volume required to block the femoral nerve. *Br J Anaesth*. 2007;98:823–7.

9. Willschke H, Bosenberg A, Marhofer P, et al. Ultrasonographic-guided ilioinguinal/iliohypogastric nerve block in pediatric anesthesia: what is the optimal volume? *Anesth Analg*. 2006;102:680–4.
10. Falcão LF, Perez MV, de Castro I, et al. Minimum effective volume of 0.5% bupivacaine with epinephrine in ultrasound-guided interscalene brachial plexus block. *Br J Anaesth*. 2013;110:450–5.
11. Ferraro LHC, Takeda A, Rezende AH, et al. Determination of the minimum effective volume of bupivacaine 0.5% for ultrasound-guided axillary brachial plexus block. *Rev Bras Anesthesiol*. 2014;64:49–53.
12. Hadzic A, Dewaele S, Gandhi K, et al. Volume and dose of local anesthetic necessary to block the axillary brachial plexus using ultrasound guidance. *Anesthesiology*. 2009;111:8–9.
13. Pace NL, Stylianou MP. Advances in and limitations of up-and-down methodology: a precis of clinical use, study design, and dose estimation in anesthesia research. *Anesthesiology*. 2007;107:144–52.
14. Cappelleri G, Aldegheri G, Ruggieri F, et al. Minimum effective anesthetic concentration (MEAC) for sciatic nerve block: subgluteal and popliteal approaches. *Can J Anaesth*. 2007;54:283–9.
15. Lesklw U, Weinberg GL. Lipid resuscitation for local anesthetic toxicity: Is it really lifesaving? *Curr Opin Anaesthesiol*. 2009;22:667–71.
16. Bem S, Akpa BS, Kuo I, et al. Lipid resuscitation: a life-saving antidote for local anesthetic toxicity. *Curr Pharm Biotechnol*. 2011;12:313–9.
17. Casati A, Fanelli G, Borghi B, et al. Ropivacaine or 2% mepivacaine for lower limb peripheral nerve blocks. *Anesthesiology*. 1999;90:1047–52.
18. Krenn H, Deusch E, Balogh B, et al. Increasing the injection volume by dilution improves the onset of motor blockade, but not sensory blockade of ropivacaine for brachial plexus block. *Eur J Anaesthesiol*. 2003;20:21–5.
19. Pippa P, Cuomo P, Panchetti A, et al. High volume and low concentration of anaesthetic solution in the perivascular interscalene sheath determines quality of block and incidence of complications. *Eur J Anaesthesiol*. 2006;23:855–60.
20. Yang S, Abrahams MS, Hurn PD, et al. Local anesthetic Schwann cell toxicity is time and concentration dependent. *Reg Anesth Pain Med*. 2011;36:444–51.
21. Fredrickson MJ, Smith KR, Wong AC. Importance of volume and concentration for ropivacaine interscalene block in preventing recovery room pain and minimizing motor block after shoulder surgery. *Anesthesiology*. 2010;112:1374–81.
22. Fredrickson MJ, White R, Danesh-Clough TK. Low-volume ultrasound-guided nerve block provides inferior postoperative analgesia compared to a higher-volume landmark technique. *Reg Anesth Pain Med*. 2011;36:393–8.